

Aus der Universitäts-Frauenklinik Erlangen
(Direktor: Prof. Dr. R. Dyroff)
und ihrem Strahleninstitut
(Leiter: Priv.-Doz. Dr. J. Weishaar)

**Experimentelle Untersuchungen zur Frage der
Feldgröße und prozentualen Dosisverteilung bei
der zusätzlichen perkutanen Röntgen- und Kobalt-
bestrahlung des Kollumkarzinoms
(Messungen am Phantom)**

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Friedrich-Alexander-Universität
zu
Erlangen-Nürnberg 1961

Vorgelegt von:

Ruth Heller
aus Nürnberg

Dekan: Professor Dr. med. G. Hegemann

Referent: Priv.-Doz. Dr. med. J. Weishaar

Korreferent: Professor Dr. med. R. Dyroff

Tag der mündlichen Prüfung: 17. Oktober 1961

Sonderdruck aus
STRAHLENTHERAPIE

Band 119, Heft 4 (1962)

VERLAG URBAN & SCHWARZENBERG / MÜNCHEN UND BERLIN

Alle Rechte, auch die des Nachdrucks, der photomechanischen Wiedergabe und der Übersetzung, vorbehalten

Aus der Universitäts-Frauenklinik Erlangen (ehemaliger Direktor: Prof. Dr. R. Dyroff) und ihrem Strahleninstitut (Leiter: Privatdozent Dr. J. Weishaar)

**Experimentelle Untersuchungen zur Frage der Feldgröße und
prozentualen Dosisverteilung bei der zusätzlichen perkutanen
Röntgen- und Kobaltbestrahlung des Kollumkarzinoms
(Messungen am Phantom)**

2. Mitteilung

Von

Julius Weishaar und Ruth Heller

Mit 8 Abbildungen



In Fortsetzung der Arbeit von Weishaar und Brückner wurden weitere Dosismessungen am Phantom zur Frage der Dosisverteilung bei Anwendung verschiedener Feldgrößen und verschiedener Feldlagen bei der Zusatzbestrahlung der Parametrien und der kranial davon gelegenen Lymphdrüsen entsprechend der Bestrahlung beim Kollumkarzinom ausgeführt.

Die Versuchsanordnung wurde in der 1. Mitteilung angegeben. Es wurden auch diesmal Membrankondensatorkammern benützt. Das Phantom war das gleiche wie bei den früheren Versuchen, nur die Lage einzelner Meßstellen war eine andere. Die Eichung der Kammern erfolgte wiederum am Tiefentherapiegerät bei 200 kV, 0,5 mm Cu-Filter, 1,1 mm Cu-Halbwertsschicht, 50 cm FHA. Jeder der uns diesmal zur Verfügung stehenden 19 Kammern wurde mit 50 r, 100 r, 200 r, 300 r und 500 r bestrahlt, der Spannungsabfall am Kondiometer in Skalenteilen abgelesen und so für jede Kammer eine Eichkurve aufgestellt.

Im Gegensatz zu den früheren Untersuchungen mit 15×8 cm großen Feldern wurden jetzt zunächst die Felder im Verhältnis zur Körperlängsachse nicht wie damals parallel, sondern schräg gestellt, von kaudal nach kranial konvergierend. Bei den früheren Versuchsmessungen mit parallel zur Körperlängsachse verlaufenden Feldern zeigte sich, daß zwar die Beckenwand eine genügend hohe Dosis erhalten kann, nicht aber die mehr medial gelegenen Lymphknoten in Höhe der unteren Lendenwirbelsäule. Diese Stellen werden jedoch von den Radiumeinlagen her nur eine nicht wesentlich ins Gewicht fallende Dosis abbekommen. Deshalb muß das Schwergewicht, wenn man die Bestrahlung der höher gelegenen Lymphdrüsen für erforderlich hält, auf die zusätzliche Bestrahlung gelegt werden. Um nun sowohl die Parametrien bis zur Beckenwand als auch die paraaortalen und die in der Aortenbifurkation befindlichen Lymph-

knoten von einem Einfallsfeld aus bestrahlen zu können, muß die Achse des Feldes von kaudal lateral nach kranial medial verlaufen, wenn das Tumorgebiet wie üblich mit einer hohen Radiumdosis belastet wird und bei der Röntgenzusatzbestrahlung ausgespart werden muß.

Lage der Meßstellen

In den Abbildungen 1 und 2 sind die Lagen der bei den diesmaligen Versuchen benutzten Meßstellen im Phantom angegeben. Zwei Maßstäbe mit Zentimeter- bzw. Halbzentimereinteilung befinden sich in der Transversalebene (TE) im Tumorzentrum in Höhe der Spinae ischiadicae (etwa Parametrienhöhe) und in der Körpermedianen, ein dritter Maßstab liegt im sagittalen Durchmesser. Die Abstände und die Lagen der Meßstellen im Verhältnis zur Medianen und zu sonstigen Punkten des Phantoms lassen sich ohne weiteres ablesen. Es darf nochmals darauf hingewiesen werden, daß bei dem benutzten weiblichen Becken normale Beckenmaße vorliegen. Der quere Durchmesser in Höhe der Spinae beträgt 13 cm, somit der Abstand von der Medianen bis zur Beckenwand (BW) 6,5 cm. Die Meßstelle an der Beckenwand hat die Nummer 1. In der Teilungsebene des im medianen Sagittalschnitt transversal halbierten Phantoms (Transversalebene = TE) sind die Meßstellen 1 bis 9, 22 (Übergang Oberschenkelkopf zum -hals) und 23 angebracht. Präsakral befinden sich die Meßstellen 10 bis 15 (10 bis 12 von kranial nach kaudal bis Mitte der Meßstelle jeweils 1 cm von der Medianen entfernt; 13 bis 15 lateral 5 cm von der Medianen) und in Höhe des Promontoriums bzw. prälumbal die Meßstellen 16 bis 21 (16 bis 18 von kaudal nach kranial bis Mitte der Meßstelle jeweils 1 cm von der Medianen entfernt, 19 bis 21 jeweils in 3 cm Abstand von der Medianen).

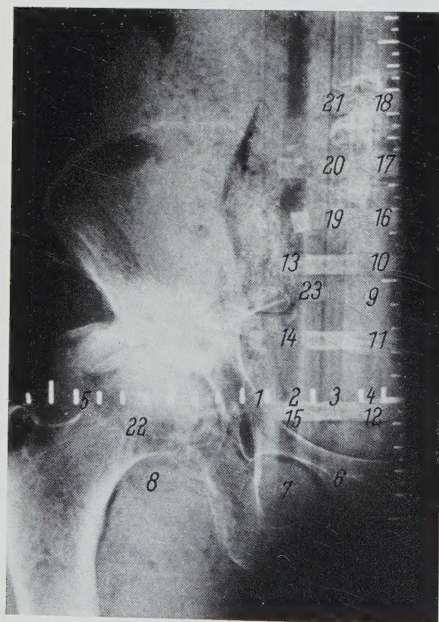


Abb. 1

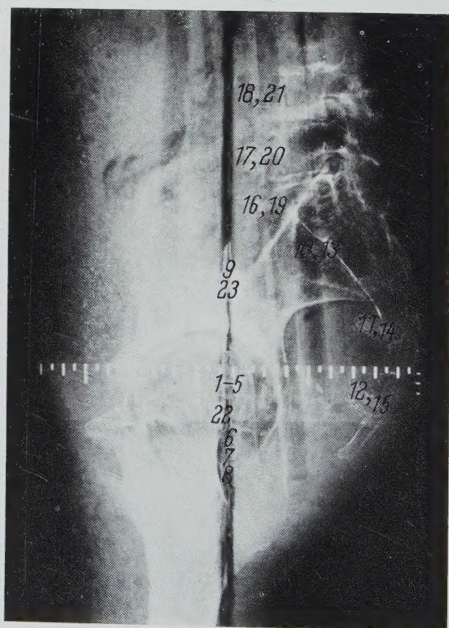


Abb. 2

Abb. 1 u. 2. Phantom a.p. und seitlich, Meßstellen und Meßkammern mit entsprechend großen Metallzylindern markiert und numeriert (s. Text). Maßstäbe mit Zentimeter- und Halbzentimeter-einteilung in der Transversalebene in Höhe der Inter-spinallinie und der Medianen bzw. im sagittalen Durchmesser gelegen.

*Meßergebnisse bei Anwendung je eines ventralen und dorsalen
15×8 cm großen Feldes*

In Abbildung 3 haben wir schematisch die Lage des ventralen Feldes an der Oberfläche aufgezeichnet. Das dorsale Feld lag dem ventralen direkt gegenüber. In Höhe der Interspinallinie, in der die Meßstellen 1 bis 4 angebracht waren, betrug der Abstand des medialen Feldrandes von der Medianen an der Phantomboberfläche 3 cm. Nach kaudal erstreckte sich das Feld von der Interspinallinie aus gemessen um rund 4 cm, nach kranial (entsprechend der Gesamtfeldlänge von 15 cm) um 11 cm. Die kraniale mediale Feldecke lag von der Medianen 1,5 cm entfernt. Der Zentralstrahl fiel 3,5 cm kranial der Interspinallinie ein (etwa in Höhe der Meßstelle 23). Von jedem Feld aus wurden unter Tiefentherapiebedingungen bei 200 kV, 20 mA, 0,5 mm Cu-Filter, 1,1 mm Cu-Halbwertsschicht (HWS) und einer Dosisleistung von 65 r/min je 200 r Oberflächendosis (OD) eingestrahlt und dann die jeweilige Dosis an den einzelnen Meßstellen festgestellt. Wir gingen bei den Versuchen genau so vor, wie in der ersten Mitteilung beschrieben. Die Herdtiefen betrugen 9 bis 8,5 cm.

2. Versuchsanordnung

Gleiche Feldgröße wie bei der 1. Versuchsanordnung, nur wurde diesmal die obere mediale Feldecke auf 0,5 cm an die Medianlinie herangelegt, wobei der Feldabstand von 3 cm von der Medianen in Höhe der Interspinallinie beibehalten wurde (s. Abb. 4).

In Tabelle 1 sind die Ergebnisse beider Versuche angegeben. (Lage der primären Strahlenkegel in der TE, s. Abb. 5.) Bei der 1. Versuchsanordnung bekamen wir auf der Höhe der Parametrien an den Meßstellen 1 bis 3 jeweils fast gleich hohe Dosen: im Mittel 118 bis 125 r, d. h. an allen 3 Meßstellen praktisch 100% der BW-Dosis. Jedoch muß hierbei beachtet werden, daß die Schwankungsbreite in der Dosishöhe von der BW in Richtung der Medianen — also beim Weggehen von der Feldmitte und dem Zentralstrahl — zunahm und daß an Meßstelle 3 doch insgesamt ein etwas kleinerer Dosiswert als an der BW gefunden wurde. An Stelle 4, die in Höhe der Interspinallinie nur 1,5 cm von der Medianen entfernt war, und damit bei hoher Radiumdosis voll

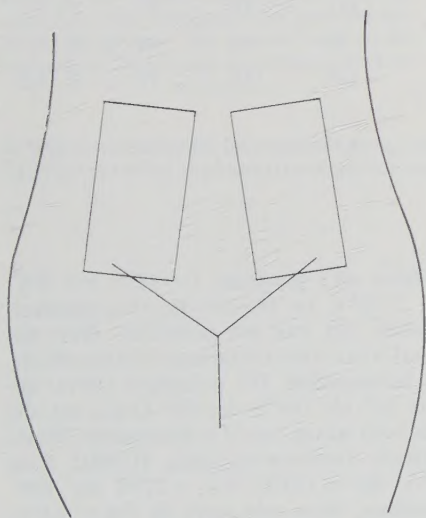


Abb. 3

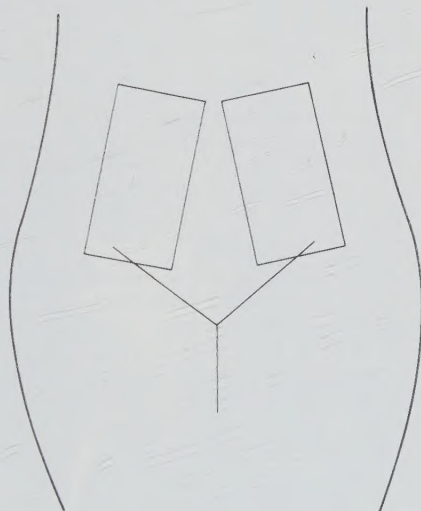


Abb. 4

Abb. 3 u. 4. Röntgenbestrahlung. Lage der Felder (15×8 cm) an der Oberfläche (s. Text).

Tabelle 1. Röntgenbestrahlung. Feldgrößen 15×8 cm; 50 cm Fokus-Haut-Abstand.

Nr. der Meßstellen	I. Versuchsanordnung (s. Text)				II. Versuchsanordnung (s. Text)			
	a	b	c	d	a	b	c	d
1	120	100	60	$\pm 2,2$	128	100	64	$\pm 7,5$
2	125	102	63	$\pm 6,1$	135	103	68	$\pm 5,2$
3	118	99	59	$\pm 11,4$	112	88	56	$\pm 17,4$
4	46	38	23	± 23	44	34	22	± 12
5	21	18	11	± 43	20	16	10	± 39
6	81	67	41	$\pm 7,5$	70	55	35	± 22
7	81	67	41	± 19	89	69	45	± 19
8	49	41	25	± 33	65	51	33	± 22
9	91	76	46	± 14	86	67	43	± 21
10	42	35	21	± 28	41	32	21	± 31
11	34	28	17	$\pm 18,5$	30	23	15	± 27
12	29	24	15	± 33	20	19	12	± 29
13	157	130	79	$\pm 3,8$	154	120	77	± 14
14	201	168	101	$\pm 1,1$	208	163	102	$\pm 6,5$
15	185	154	93	$\pm 8,5$	180	140	90	± 4
16	41	34	21	± 15	51	40	25	± 40
17	48	40	24	± 23	56	41	26	± 29
18	33	28	17	± 51	36	28	18	± 45
19	121	100	60	$\pm 9,3$	135	103	67	$\pm 7,6$
20	124	102	62	$\pm 9,2$	127	100	64	$\pm 5,3$
21	92	77	46	± 12	101	79	51	± 11
22	78	65	39	± 25	63	49	32	± 26
23	—	—	—	—	158	122	79	$\pm 4,2$

a = gemessene mittlere Dosis in r;

b = prozentuale Dosisverteilung, bezogen auf die Dosis an der Beckenwand (Meßstelle 1) = 100%;

c = durchschn. relative Tiefendosis in Prozent, bezogen auf die Oberflächendosis je Feld (=100%);

d = Schwankungsbreite in Prozent von a.

ausgelastet werden würde, wurden durchschnittlich 46 r gemessen (= 38% der BW-Dosis). Die Schwankungsbreite belief sich auf $\pm 23\%$. Im Bereich des Oberschenkelkopfes, am Übergang zum Schenkelhals (Meßstelle 22) war der gefundene Wert mit 65% der BW-Dosis noch recht hoch, weiter lateral, etwa Schenkelhalsmitte (Meßstelle 5), waren nur noch 21 r (=18% der BW-Dosis) festzustellen. Die präsakral lateral gelegenen Kammern (13 bis 15) wiesen Werte von 130 bis 168% der BW-Dosis auf, die medial gelegenen (10 bis 12) 24 bis 35%. Wie hoch waren nun die gemessenen Werte im Bereich des Promontoriums und der unteren Lendenwirbelsäule (LWS)? 3 cm paramedian zum Teil recht hoch (19 = 121%, 20 = 124%, 21 = 77% der BW-Dosis), fallen sie nach medial, d. h. 1 cm paramedian, schon sehr stark ab (16 = 34%, 17 = 40%, 18 = 28% der BW-Dosis).

Auch bei etwas stärkerer Schrägstellung des Feldes (2. Versuchsanordnung) ergaben sich keine wesentlich anderen Werte an den medial gelegenen Meßstellen 16, 17, 18.

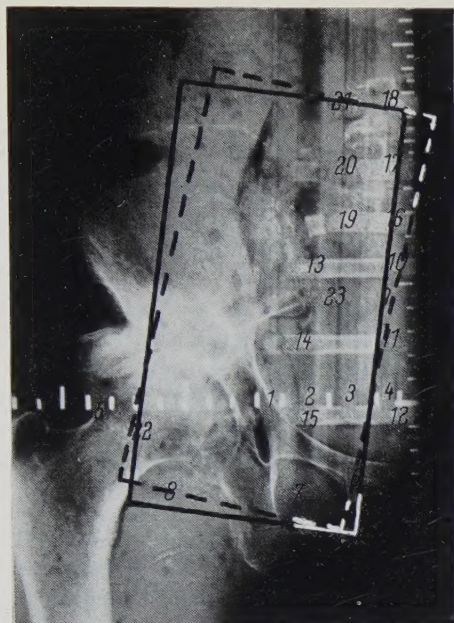


Abb. 5. Röntgenbestrahlung; Feldgrößen
15 × 8 cm.

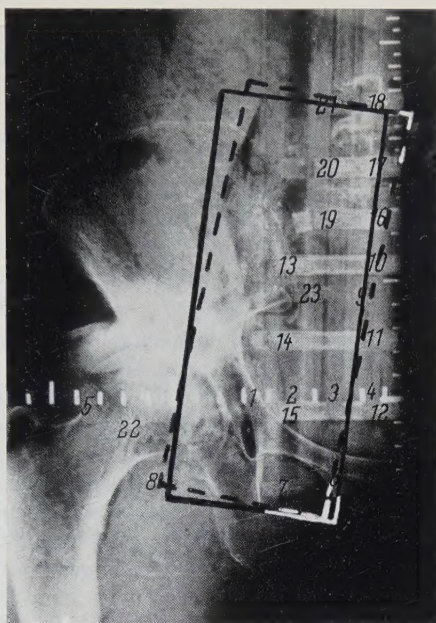


Abb. 6. Telekobaltbestrahlung; Feldgrößen
15 × 6 cm.

Abb. 5 bis 7. Größen der primären Strahlenkegel in der Transversalebene in Phantommitte bei 9 cm „Herdtiefe“ bei den verschiedenen Feldgrößen. Die kranial nach medial verlagerten Felder sind gestrichelt gezeichnet (s. Text).

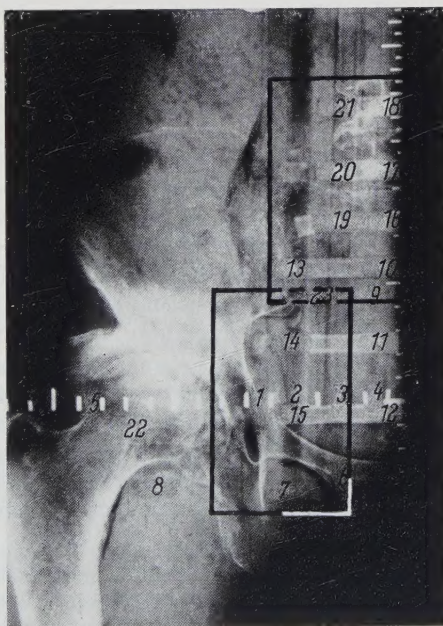


Abb. 7. Telekobaltbestrahlung; Feldgrößen
8 × 5 cm und 8 × 10 cm.

Auch an allen übrigen Meßstellen fanden sich keine deutlichen Änderungen der Dosishöhe. Die Meßstelle 23 in der Nähe des Zentrums des Feldes und in Körpermitte erhielt im Mittel 158 r, was 122% der BW-Dosis entsprach. Die Dosis von 158 r müßte etwa der errechneten Dosis entsprechen, wie man sie bei der Bestrahlung am Patienten durchführen würde. Nach *Grebe* und *Wiebe* käme man auf eine Dosis von 148 bis 151 r, also ziemlich nahe an die gemessene mittlere Dosis heran.

Wie bei den früheren Messungen, ergaben sich auch diesmal die größten Schwankungen in den Dosishöhen an den Feldrändern.

Epikrise

Im Vergleich mit den Ergebnissen bei parallel zur Längsachse des Körpers stehenden 15×8 cm großen Feldern (1. Mitteilung) fanden sich jetzt bei schräg von kaudal nach kranial medial verlaufenden Feldern in Höhe der unteren LWS 1 cm paramedian Werte zwischen 40% und 28% der BW-Dosis — bei beiden Versuchsanordnungen — und 3 cm paramedian 103% bis 77% (von kaudal nach kranial). Demgegenüber waren seinerzeit bei der Parallelstellung des Feldes zur Körperachse 2,5 cm paramedian (Höhe des Promontoriums und der unteren LWS) nur 55%–39% der BW-Dosis angelangt. An die BW kamen trotz der relativ geringen Herdtiefen nur 60 bis 64% der OD, im Zentrum des Feldes waren es rund 80%, im lateralen Kreuzbeingebiet 80 bis 100% (120 bis rund 170% der BW-Dosis). Im lateralen Gebiet — Höhe des Promontoriums und des 5. I WK — war die Dosis gleich hoch wie an der BW, in Höhe von LWK 4 um rund 20–25% niedriger (nur noch 45–50% der OD). Im Gebiet des Oberschenkelkopfes lateral wurde bei 8 cm breitem Feld eine noch relativ hohe mittlere Dosis gemessen.

Eine Besserung der Verhältnisse läßt sich durch Verschmälerung des Feldes erreichen. Nimmt man hierzu einen 8×6 cm großen Tubus, wie es früher geschah, dann muß man, wenn man die Lymphknoten in Höhe der unteren LWS erfassen will, jeweils 2 Felder ansetzen, da eines hierzu nicht ausreicht.

Telekobaltbestrahlung

Einige Schwierigkeiten, die bei der konventionellen Röntgenbestrahlung bestehen, dürften durch Anwendung der Telekobalttherapie, bei der die prozentuale Dosisverteilung innerhalb des Bestrahlungsfeldes von vornherein wesentlich günstiger ist als bei der üblichen Röntgenbestrahlung mit 200 und 250 kV, vermieden werden können. Außerdem ist mit einem wesentlichen Herddosisgewinn bei Anwendung der Kobaltbestrahlung zu rechnen.

Nachdem wir seit Februar 1960 über ein Telekobalttherapiegerät verfügen (Theratron junior), stellten wir mit diesem entsprechende Versuche an. Erfahrungen mit Telekobalttherapie in großem Umfang müssen in Deutschland erst gesammelt werden, da sich diese Behandlungsart bei uns erst durchzusetzen beginnt. Man ist sich darüber einig, daß die Einführung der Telekobalttherapie gegenüber der konventionellen Röntgenbestrahlung einen wesentlichen Fortschritt gebracht hat.

Bei den anerkannt günstigen physikalischen Voraussetzungen in der Telekobalttherapie war es interessant, am Phantom die tatsächliche prozentuale Dosisverteilung bei Benützung verschiedener Felder zu studieren.

In der Arbeitsmethodik gingen wir genau wie bei den Messungen am Röntgengerät vor: Die Membrankondensatorkammern wurden mit einer bestimmten Dosis am Kobaltgerät bestrahlt (50 r, 100 r, 200 r usw.) und für jede Kammer eine entsprechende Eichkurve aufgestellt. Für unsere Versuche verwendeten wir das bei den vorher beschriebenen Versuchen benutzte Phantom unverändert wieder. Auch die Meßstellen wurden belassen, ebenso die Herdtiefen, um Vergleichsmöglichkeiten mit der Röntgenbestrahlung zu gewinnen.

*Felderlage und Meßergebnisse bei Anwendung der Feldgröße 15 × 6 cm
mit jeweils 55 cm FHA (s. auch Abb. 6).*

Die Bestrahlung des kleinen Beckens und der unteren LWS-Gegend erfolgte über je ein ventrales und ein dorsales Feld mit je 200 r OD. Die Felder wurden schräg gestellt, ihre Lage ist in Abbildung 8 a angegeben (kraniale mediale Feldecke bei der ersten Versuchsanordnung 1,5 cm, bei der zweiten 0,5 cm von der Medianen entfernt). Der mediale Feldrand war in Höhe der Interspinallinie wiederum 3 cm von der Medianen entfernt. Rund 4 cm der Gesamtfeldlänge von 15 cm befanden sich unterhalb der Interspinallinie. Die Meßstelle 23 lag wieder in der Nähe des Zentrums des Bestrahlungsfeldes in Phantommittle. Sie erhielt bei der Bestrahlung von ventral und dorsal 104% der BW-Dosis, auf die wir wiederum alle Werte bezogen (BW-Dosis = 100%). Nach median zu von der BW ergab sich an Meßstelle 3 gegenüber der BW schon eine beachtliche Dosisminderung (66% der BW-Dosis), die sich an Meßstelle 4 (21% der BW-Dosis) verstärkt fortsetzte (s. Tab. 2).

Die beiden Meßstellen 6 und 7 kaudal der Interspinallinie wiesen 36% und 65% der BW-Dosis auf (Dosisanstieg von medial nach lateral). Niedrige Dosen bekamen wir in der Gegend des Oberschenkelkopfes und -halses (22 = 11%, 5 = 7%, 8 = 18% der BW-Dosis). Prälumbal erhielten wir medial nur geringe Dosen (16 = 18%, 17 = 24%, 18 = 46% der BW-Dosis), die der Lage am Feldrand bzw. außerhalb des Feldes entsprechend eine hohe Schwankungsbreite aufwiesen. 2 cm lateral davon stiegen die Werte dagegen auf z. T. fast 100% der BW-Dosis an (19 = 98%, 20 = 95%, 21 = 66%).

Besonders im Hinblick auf die niedrige Dosis prälumbal paramedian begannen wir eine neue Meßreihe (2. Versuchsanordnung), bei der wir die Ecke des 15 × 6-cm-Feldes kranial medial auf 0,5 cm an die Mediane heranrückten, während der Abstand von der Medianen in Höhe der Interspinallinie beibehalten wurde (Abb. 8 b).

Sonst bestanden die gleichen Bedingungen wie bei der ersten Versuchsanordnung.

Im Bereich der Parametrien, des Oberschenkelkopfes, des Schenkelhalses, der lateralen Anteile des Kreuzbeines, des Promontoriums und der unteren LWS veränderten sich die Werte praktisch nicht. Durch den schrägen Verlauf des Feldes bei der 2. Versuchsanordnung gegenüber der ersten waren die hauptsächlichsten Dosisänderungen an den medialen Meßstellen kranial der Interspinallinie zu erwarten. Wir fanden dann auch an der Meßstelle 9 in der TE einen Dosisanstieg um rund 70% (= von 25% auf 45% der BW-Dosis), an der Meßstelle 10 (Kreuzbein medial kranial) ebenfalls um etwa 70% (von 17% auf 28%). Am stärksten aber mußte sich der schräge Feldverlauf in Höhe der unteren LWS bemerkbar machen. Die Dosiserhöhung an der Meßstelle 16 (kaudal) und 17 betrug rund 140% bis 150% (Anstieg von 18% auf 43% bzw. von 24% auf 60% der BW-Dosis) und an der Meßstelle 18 (kranial) etwa 80% (von 22% auf 40%). An der Meßstelle 18 war naturgemäß der geringste Dosisanstieg im Vergleich mit den anderen Meßstellen in Höhe der unteren LWS zu erwarten, weil diese Stelle z. T. schon außerhalb kranial des primären Strahlenkegels lag.

Die gemessenen Dosen in Feldmitte (Meßstelle 23 219 r und 226 r) stimmten mit den errechneten überein: Unter Berücksichtigung der gering schwankenden Herdtiefen bzw. nicht ganz zu vermeidenden geringfügigen Einstellungsungenauigkeit ergab sich eine Dosis von 220 bis 225 r. Da pro Feld 200 r OD gegeben wurden, lag also die Herddosis höher als die Oberflächendosis. Hierbei ist aber noch zu beachten, daß bei Kobalt-

Tabelle 2. Telekobaltbestrahlung. Feldgrößen 15×6 cm; 55 cm Fokus-Haut-Abstand.

Nr. der Meßstellen	I. Versuchsanordnung (s. Text)				II. Versuchsanordnung (s. Text)			
	a	b	c	d	a	b	c	d
1	210	100	102	$\pm 2,1$	204	100	102	$\pm 4,7$
2	215	102	104	$\pm 3,9$	204	100	102	$\pm 4,9$
3	139	66	70	$\pm 18,3$	138	68	69	$\pm 17,5$
4	43	21	22	$\pm 29,2$	30	15	15	$\pm 15,2$
5	15	7	8	—	18	9	9	± 70
6	75	36	38	$\pm 19,6$	62	30	31	± 28
7	136	65	68	$\pm 10,5$	114	56	57	$\pm 8,2$
8	37	18	18	$\pm 41,2$	34	17	17	$\pm 11,4$
9	53	25	27	± 28	91	45	46	$\pm 17,8$
10	35	17	17	± 35	57	28	29	$\pm 25,4$
11	28	13	14	± 25	25	12	13	$\pm 24,2$
12	28	13	14	$\pm 21,4$	22	11	11	$\pm 14,9$
13	222	105	101	$\pm 8,2$	220	108	110	$\pm 3,2$
14	247	119	124	$\pm 4,2$	232	114	116	$\pm 2,8$
15	220	102	105	$\pm 6,7$	230	113	115	$\pm 3,8$
16	37	18	18	± 26	88	43	44	± 22
17	51	24	26	± 32	122	60	61	± 12
18	46	22	23	± 25	82	40	41	$\pm 14,6$
19	205	98	103	$\pm 6,8$	210	103	105	$\pm 2,7$
20	201	95	100	$\pm 7,3$	205	100	101	$\pm 5,9$
21	139	66	69	± 25	148	73	74	± 10
22	23	11	17	± 41	22	11	11	± 21
23	219	104	105	$\pm 7,1$	226	110	112	$\pm 2,6$

a = gemessene mittlere Dosis in r;

b = prozentuale Dosisverteilung, bezogen auf die Dosis an der Beckenwand (Meßstelle 1) = 100%;

c = durchschn. relative Tiefendosis in Prozent, bezogen auf die Oberflächendosis je Feld (= 100%);

d = Schwankungsbreite in Prozent von a.

bestrahlung ohne Kompressionstubus das Dosismaximum nicht direkt an der Hautoberfläche, sondern in 5 mm Tiefe gelegen ist. An der BW ergab sich im Vergleich zur Feldmitte eine um etwa 4 bis 10% niedrigere Dosis.

Epikrise

Im lateralen Gebiet in Höhe des Promontoriums und der unteren LWS waren die Dosen bei beiden Versuchsanordnungen an den Meßstellen 19 und 20 praktisch genau so hoch wie an der Beckenwand. Nur die kraniale Meßstelle 21 an der unteren LWS (Höhe LWK 4) erhielt nur jeweils rund 70% der BW-Dosis. Die medialen Partien im Bereich des Promontoriums und der LWS jedoch bekommen trotz starker relativer Dosiszunahme auch bei der 2. Versuchsanordnung keine genügend hohe Dosis: die kaudalen Meßstellen 43% und 60% der BW-Dosis, die kraniale 40%.

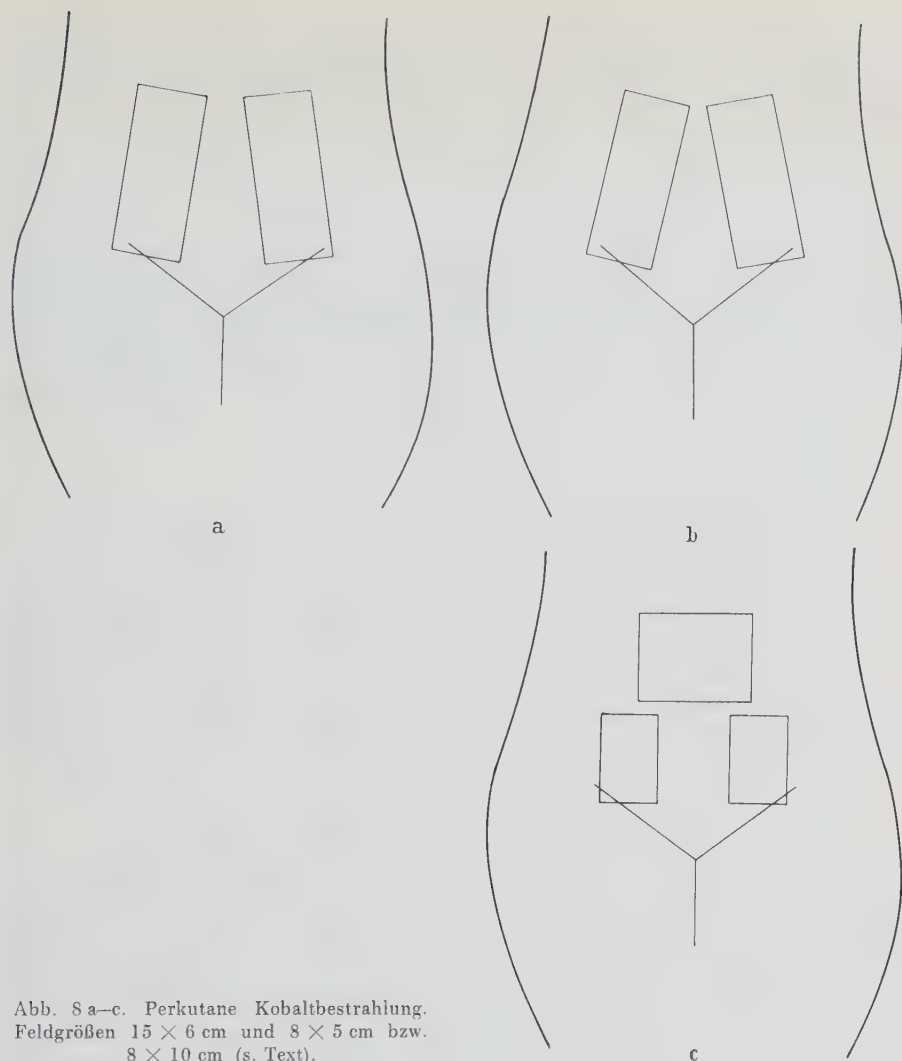


Abb. 8 a—c. Perkutane Kobaltbestrahlung.
Feldgrößen 15×6 cm und 8×5 cm bzw.
 8×10 cm (s. Text).

Somit war auch durch starke Schrägstellung des 15×6 -cm-Feldes eine sicher ausreichende Strahlenmenge prälumbal medial bei gleichzeitig günstiger Dosisverteilung im kleinen Becken nicht zu erzielen.*

Deshalb begannen wir eine neue Versuchsreihe:

Die Parametrien und Beckenwand wurden mit einem 8×5 cm großen Feld, das 3 cm lateral der Medianen an der Oberfläche angesetzt wurde (Zentralstrahl somit 5,5 cm paramedian), bestrahlt. Im Gegensatz zu der früheren Versuchsanordnung mit Röntgenbestrahlung (1. Mitteilung *Weishaar* u. *Brückner*), bei der je Seite 2 Felder von 8×6 cm Größe verwendet worden waren, insgesamt also für beide Seiten 8 Felder, wählten wir diesmal insgesamt nur 6 Felder, wobei die oberen Felder gegenüber früher zu einem

* Die zusätzliche Dosis vom Feld der anderen Seite wurde bei den Dosisangaben jeweils nicht mitberücksichtigt.

Feld zusammengefaßt wurden (s. Abb. 8 c). Die Größe des kranialen abdominalen bzw. dorsalen Feldes, das somit genau median lag und sich gleichmäßig je 5 cm paramedian erstreckte, betrug 8×10 cm. Der Abstand zu den parametranen Feldern belief sich an der Oberfläche auf 1 cm. Zwischen den beiden Feldern — es wurde jeweils nur eine Phantomseite ausgemessen — lag die Meßstelle 23.

Je Feld wurden wiederum von ventral und dorsal je 200 r OD bei 55 cm FHA appliziert.

Ergebnisse (s. Tab. 3 u. Abb. 7)

Die Meßstellen im Bereich der Parametrien (1 bis 4) erhielten trotz der Verschmälerung des Feldes um 1 cm gegenüber den vorangegangenen Versuchsanordnungen fast unveränderte Dosen. Das Oberschenkelkopf- und -halsgebiet wurden z. T. noch weniger belastet als vorher (Feldverschmälerung und Geradstellung). An den Meßstellen 11,

Tabelle 3. Telekobaltbestrahlung. Feldgrößen 8×5 cm und 8×10 cm bzw. 8×5 cm (s. Text).

Nr. der Meßstellen	Versuchsanordnung (s. Text)			
	a	b	c	d
1	213	100	107	$\pm 3,4$
2	211	99	106	± 5
3	127	56	60	$\pm 2,7$
4	32	15	16	± 25
5	16	8	8	± 75
6	120	56	60	± 14
7	163	77	82	$\pm 5,2$
8	23	11	12	± 53
9	97	46	49	± 11
10	194	91	97	$\pm 8,8$
11	34	16	17	± 20
12	21	10	13	± 20
13	180	85	90	$\pm 3,3$
14	240	106	120	$\pm 1,6$
15	232	105	108	$\pm 1,8$
16	211	99	103	$\pm 5,4$
17	218	101	105	$\pm 2,6$
18	203	95	101	$\pm 4,2$
19	203	95	101	$\pm 3,7$
20	206	97	102	$\pm 3,7$
21	199	93	100	$\pm 5,2$
22	15	7	8	± 48
23	220	103	110	$\pm 5,9$

a = gemessene mittlere Dosis in r;

b = prozentuale Dosisverteilung, bezogen auf die Dosis an der Beckenwand (Meßstelle 1) = 100%;

c = durchschn. relative Tiefendosis in Prozent, bezogen auf die Oberflächendosis je Feld (= 100%);

d = Schwankungsbreite in Prozent von a.

12, 14 und 15 (präsakral, Mitte und kaudal sowohl medial als lateral) waren die Dosen gegenüber der Versuchsanordnung mit 15×6 cm großem Feld auch nahezu gleich geblieben. Ein sehr starker Dosisanstieg wurde jetzt an Meßstelle 10 (präsakral kranial medial) beobachtet, nachdem die Kammern an dieser Stelle gegenüber früher nun ganz, wenn auch schon mehr am Rande, im primären Strahlenkegel des kranialen Feldes lagen ($194 \text{ r} = 91\%$ der BW-Dosis; früher 35 r bzw. 57 r). Die Meßstelle 13 in Höhe der Meßstelle 10, nur 4 cm weiter lateral, zeigte gegenüber den Versuchen mit 15×6 -cm-Feldern eine etwas niedrigere Dosis, weil sich die Kammern jetzt nicht mehr im Zentrum des Feldes, sondern am unteren äußeren Rand des Feldes befanden. Wie zu erwarten, blieben die Dosen an den Stellen 19 und 20 (Promontoriumhöhe lateral, untere LWS lateral) etwa gleich, während sie an Stelle 21 (kranialer lateraler Bereich der unteren LWS) anstiegen (Kammern jetzt noch voll im primären Strahlenkegel). Der Hauptgewinn an Dosiszuwachs wurde außer an Meßstelle 10 an den Stellen 16, 17 und 18 im medialen Bereich des Promontoriums und der unteren LWS festgestellt. Die Kammer an Meßstelle 23 zwischen dem kranialen und kaudalen Feld wies praktisch 100% der BW-Dosis oder der Dosis an Meßstelle 17 (etwa Zentrum des kranialen Feldes) auf.

Epikrise

Durch Anwendung von je 3 ventralen und dorsalen Feldern ist eine sehr günstige Dosisverteilung im kleinen Becken überhaupt und im Bereich der paraaortalen Lymphbahnen insbesondere zu erreichen: Auf Höhe der Parametrien haben sich die gemessenen Dosen gegenüber den vorangegangenen Versuchen mit dem Telekobaltgerät kaum geändert. Schenkelhals und das Gewebe unmittelbar ober- und unterhalb davon wurden jetzt noch weniger belastet als vorher. Der wichtigste Dosisgewinn wurde medial in Höhe des Promontoriums und der unteren LWS erzielt. Dieses Gebiet und auch die lateralen Bereiche lagen jetzt voll im primären Strahlenkegel und wiesen die erforderlichlich hohen Dosen auf.

Diskussion der Ergebnisse

In der 1. Mitteilung von Weishaar und Brückner war gezeigt worden, wie unzweckmäßig 10 cm breite Felder bei der zusätzlichen perkutanen Stehfeld-Röntgenbestrahlung der Parametrien und Lymphwege beim Kollumkarzinom sind — sowohl über je 2 abdominale und dorsale Felder je Seite nach Art der Wintzschens Methode als auch über nur je eines. Auch 8 cm breite und 15 cm lange parallel zur Körperlängsachse stehende Felder erfüllten die Erwartungen nicht. Jetzt prüfen wir, wie sich die prozentuale Dosisverteilung bei einer Feldgröße von 15×8 cm bei schräg zur Längsachse des Körpers stehenden Feldern gestalten würde. Dabei fanden wir im Parametrienbereich an den Meßstellen 3 (100% der BW-Dosis) und 4 (38%) einerseits noch relativ zu hohe Dosen; andererseits waren die Dosiswerte im paraaortalen Drüsengebiet medial (Meßstellen 16–18) mit 28% bis 40% der BW-Dosis nicht ausreichend. Selbst bei stärkerer Schrägstellung des Feldes konnten sie nicht gesteigert werden. Zudem war bei beiden Versuchsanordnungen der Schenkelhals mit 65% bzw. 63% der BW-Dosis bei weitem zu hoch belastet. Zu dieser ungünstigen prozentualen Dosisverteilung kommt noch hinzu, daß die HD selbst im Vergleich zur OD zu niedrig ist.

Seit Februar 1960 wird an unserer Klinik Telekobalttherapie durchgeführt. Da bei ihr kein erhöhter Dosisabfall durch Strahlenabsorption im Knochen gegenüber den Weichteilen stattfindet, prüften wir in weiteren Versuchsreihen,

ob unser erstrebtes Ziel — höhere Dosen im Bereich der Parametrien und der unteren LWS — mit der Telekobalttherapie zu erreichen ist. Die medialen Feldabstände wählten wir wie bei den vorhergehenden Röntgenbestrahlungen, jedoch verschmälerten wir das Feld auf 6 cm. Die Feldlänge betrug 15 cm. Die gemessenen Dosen gestalteten sich jetzt erwartungsgemäß insgesamt wesentlich günstiger. In Promontoriumhöhe und prälumbal medial stieg jedoch die Strahlenmenge, auch bei stark schräg gestelltem Feld, immer noch nicht genügend hoch an.

Vergleicht man die Ergebnisse bei Röntgenbestrahlung (Feldgröße 15×8 cm) mit denjenigen bei Telekobalttherapie (15×6 cm), wobei die Felder in beiden Fällen schräg zur Körperlängsachse verliefen, so ist die Überlegenheit der Telekobalttherapie mit dem schmäleren Feld eindeutig: Im Zentrum des Feldes waren bei ihr 104 % der BW-Dosis gegenüber 122 % bei Röntgenbestrahlung meßbar. Präsakral lateral betrug der Prozentsatz an der BW-Dosis bei Co⁶⁰ auch nur 102 bis 119 % gegenüber 120 bis 163 % bei Röntgenbestrahlung. Am Schenkelhals stellten wir 11 % der BW-Dosis bei Anwendung des Telekobaltgerätes gegenüber 65 % bei Behandlung mit Röntgenstrahlen fest. Lediglich am Promontorium lateral und an den Meßstellen 20 und 21 (LWK 4 und 5 lateral) war die prozentuale Dosis bei beiden Therapiearten etwa gleich hoch, während am Promontorium medial und an der LWS medial die Röntgenstrahlung gegenüber Kobalt 60 (prozentual in bezug auf BW-Dosis gesehen!) etwas günstiger abzuschneiden vermochte.

Man kann also für Co⁶⁰ eine gleichmäßigere und günstigere Dosisverteilung feststellen. Die Differenz in der Strahlenmenge zwischen den präsakral und den mehr in Phantommitte gelegenen Meßstellen ist nicht so groß wie bei Röntgenbestrahlung. Außerdem haben wir bei Anwendung des Telekobaltgerätes und schmalen Feld (6 cm) eine wesentliche Schonung des gesunden Gewebes lateral der BW. Der rasche Dosisabfall auf Parametrienhöhe zur Medianen hin ist wünschenswert, weil so die große Gefahr der Dosisüberhöhung bei Kombination hoher Radiumdosen mit perkutaner Bestrahlung besser vermieden werden kann. Jedoch war die erzielbare Dosis im medialen Bereich des Promontoriums und der unteren LWS auch bei Telekobaltbestrahlung trotz der größeren relativen Tiefendosis gegenüber der Röntgenbestrahlung zu niedrig.

Deshalb haben wir die schräge Feldeinstellung verlassen und sind in einer neuen Versuchsreihe mit dem Telekobaltgerät zu insgesamt je 3 ventralen und dorsalen, parallel zur Körperlängsachse stehenden Feldern übergegangen, wobei aber nur die eine Phantomhälfte ausgemessen wurde. Das kaudale Feld in Parametrienhöhe wurde auf 5 cm verschmälert, der mediale Feldrand an alter Stelle 3 cm paramedian belassen. Die Feldlänge betrug jetzt 8 cm, davon 4 cm kaudal der Interspinallinie. In Höhe des Promontoriums und der unteren LWS in 1 cm Abstand vom Parametrienfeld wurde ein völlig median gelegenes 8×10 cm großes Feld angesetzt (je Seite also halbe Feldgröße 8×5 cm).

Bei dieser Versuchsanordnung fanden wir im Parametrienbereich eine ebenso günstige Dosisverteilung wie beim schräggestellten 15×6 cm großen Feld bei Co⁶⁰-Bestrahlung. Die Dosis am Schenkelhals lag jetzt noch niedriger. Vom Promontorium an aufwärts bis zum 4. LWK fanden wir sowohl medial als auch lateral eine voll ausreichende Dosis (93–101 % der BW-Dosis), wohingegen bei der perkutanen Röntgenbestrahlung nicht mehr genügend hohe Dosen zu messen gewesen waren. Als weiterer Vorteil der Telekobalttherapie ist anzu-

führen, daß bei ihr im Vergleich zur Röntgenbestrahlung keine Rücksicht auf die Knochenabsorption der LWS und des Kreuzbeins genommen zu werden braucht; es kann ohne weiteres durch das Knochenmassiv hindurch bestrahlt werden.

Die 6-Felder-Methode gestattet es, jeder Situation entsprechend optimale Bestrahlungsfelder anzusetzen. Hierbei kann man zudem der übergeordneten Forderung nach Bestrahlung eines möglichst kleinen Raumes nachkommen, wobei sogar gleichzeitig die Lymphbahnen ohne weiteres bis in Höhe der Aortenbifurkation oder noch weiter kranialwärts mit einer hohen Dosis belegt werden können. Es ist möglich, die Felder jeweils in erforderlicher Weise an die Isodosenverläufe des Radiumapplikators anzulegen. Die Parametrienfelder können in jeder Art nach lateral oder medial verlagert werden, sie können verlängert oder verkürzt werden, je nachdem, wo sich der Radiumapplikator befand; ob er nach rechts oder links von der Mittellinie lag, ob er weit nach kranial reichte (langer Stift) oder nicht (kurzer Stift). Es lassen sich mit der 6-Felder-Methode alle Variationen durchführen.

Gegenüber den üblichen 15×10 cm großen Feldern bei der Röntgenbestrahlung, von denen mindestens täglich 2 belastet werden, somit eine Gesamtoberfläche von 300 cm^2 oder von 2 15×6 cm großen Feldern mit Telekobalttherapie ($= 180 \text{ cm}^2$), werden bei Einstrahlung mit Co^{60} von 3 Feldern nach der beschriebenen 6-Felder-Methode $2 \times (8 \times 5) \text{ cm}$ plus $8 \times 10 \text{ cm} = 160 \text{ cm}^2$ Fläche bestrahlt. Diese Belastung kann der Patientin ohne weiteres zugemutet werden. Im Prinzip wird der durchstrahlte Raum bei allen Variationen der Kombination von Radium und perkutaner Co^{60} -Bestrahlung nach der vorgeschlagenen Art jeweils etwa gleich groß sein. Es scheint nicht mehr notwendig, mit Rücksicht auf eine sehr hohe Raumdosis auf die Bestrahlung der höher gelegenen Lymphknoten bei der Behandlung des Kollum- und Korpuskarzinoms zu verzichten.

Zusammenfassend dürfen die Ergebnisse unserer bisherigen Untersuchungsreihen dargelegt werden*:

Röntgenbestrahlung

1. 15×10 cm große Felder sind zu groß, vor allem zu breit; bei ihnen werden bei der Zusatzbestrahlung des Kollumkarzinoms gesunde Gewebsteile unnötig belastet, wobei darüber hinaus im Bereich der unteren LWS die erzielbaren Dosen viel zu niedrig sind und die prozentuale Dosisverteilung nicht optimal ist.
2. 15×8 cm große Felder, parallel zur Körperlängsachse verlaufend, ergeben eine bessere Schonung gesunder Gewebsabschnitte, insbesondere des Schenkelhalses, des Darmbeins und des Darmes gegenüber der unter 1. geschilderten Versuchsanordnung.
3. 15×8 cm große Felder, schräg zur Körperlängsachse gestellt, bedingen im medialen Bereich der unteren LWS keine ausreichende Strahlenmenge.

Bei den Versuchsanordnungen 1. bis 3. bekommen wir also in keinem Fall an der unteren LWS und Beckenwand gleichzeitig genügend hohe prozentuale Dosen. Darüber hinaus ist bei der Röntgenbestrahlung bei Herdtiefen von über 7 cm die OD je Feld größer als die HD.

* Herrn Dr. A. Reuß danken wir vielmals für die beratende Mithilfe.

4. Bei bewußtem Verzicht auf die Bestrahlung der Lymphknoten im unteren LWS-Gebiet läßt sich mit je 2 abdominalen und 2 dorsalen 8×6 -cm-Feldern je Parametrium eine günstige Dosisverteilung erzielen. Dabei liegt gleichzeitig die Herddosis im Verhältnis zur Oberflächendosis normalerweise höher, was bei 1. bis 3. nicht der Fall ist.

Co⁶⁰-Bestrahlung

5. Zwar haben wir bei 15×6 cm großen schräg gestellten Feldern gleichzeitig an der Beckenwand und an der unteren LWS lateral eine genügend hohe prozentuale Dosis, jedoch nicht an der unteren LWS medial, auch nicht bei stark schräg gestelltem Feld. Sonst ist die Dosisverteilung sehr günstig: Ein kleiner Raum wird bestrahlt, der Schenkelhals wird kaum belastet, und in Höhe der Interspinallinie erfolgt zur Medianen hin ein rascher Dosisabfall.
6. Eine günstige prozentuale Dosisverteilung läßt sich sowohl an der BW als auch an der gesamten unteren LWS auf folgende Weise erreichen:
- a) Bei Röntgenbestrahlung durch Ansetzen von je zwei 8×6 cm großen Feldern je Körperseite, abdominal und dorsal. Hierbei haben wir jedoch den großen Nachteil, daß bei sehr vielen Patienten die Herddosis auch bei Anwendung starker Kompression unter der Oberflächendosis liegt. Außerdem kann es vor allem bei starker Kompression schwierig sein, die Felder so aneinanderzureihen, daß weder Über- noch Unterdosierungen an den Feldüberschneidungen auftreten.
 - b) Bei Co⁶⁰-Bestrahlung braucht auf die Strahlenabsorption des Knochens keine Rücksicht genommen zu werden, weshalb durch das ganze Knochenmassiv der LWS und des Kreuzbeins hindurch bestrahlt werden kann, wodurch es möglich wird, dieses Gebiet von je einem abdominalen und dorsalen Feld aus zu bestrahlen. Für die Parametrien und die BW ist zusätzlich je ein abdominales und ein dorsales Feld nötig, das bei Auslastung des Tumorzentrums mit Radium nur 5 bis 6 cm breit zu sein braucht. Mit dieser zuletzt beschriebenen 6-Felder-Methode lassen sich praktisch alle erforderlichen individuellen Variationen der Bestrahlung vornehmen, wobei gleichzeitig in den meisten Fällen die gewünschte Herddosis erreicht werden kann. Die Aneinanderlegung der Felder macht keine Schwierigkeiten. Entsprechend der Herdtiefe läßt sich leicht der benötigte Felderabstand für die Oberfläche berechnen. Am geometrischen Feldrand (Lichtvisier) haben wir jeweils 50 % der Dosis der Feldmitte. Wenn ohne Kompression gearbeitet wird, wie es bei Telekobaltbestrahlung meistens geschieht, gibt es praktisch keine Schwierigkeiten für eine günstige Felderkombination.

Zusammenfassung

In einer Versuchsreihe wurden Messungen am Phantom zur Feststellung der Dosisverteilung bei verschiedenen Feldgrößen und -lagen durchgeführt, entsprechend den Gegebenheiten bei der perkutanen Zusatzröntgen- bzw. Telekobaltbestrahlung beim Kollumkarzinom. Gleichzeitig wurde, z. T. an Hand von Röntgenaufnahmen, die Frage von günstigen Feldgrößen und -anordnungen diskutiert.

Summary

Measurements for determining the dose distribution for different field sizes and field orientations were done, using a phantom, corresponding to the conditions in the percutaneous additional x-ray and telecobalt irradiation in cases of carcinoma of the cervix. At the same time the problem of suitable field sizes and field arrangements is discussed using, sometimes, roentgenograms.

Résumé

Dans une série d'expérimentations, les auteurs mesurent sur fantômes, la répartition des doses pour différentes grandeurs de champ et différentes positions, en roentgen- et télécobalthérapie complémentaires du cancer du col. Ils discutent à l'aide de radiographies la question de champs et de dispositions favorables.

Schrifttum

Weishaar, J., u. G. Brückner: Strahlentherapie 119 (1962): 250.

Lebenslauf

Als Tochter des prakt. Arztes Dr. Friedrich Heller und seiner Ehefrau Anni, geb. Eberle, wurde ich am 11. 4. 1936 in Nürnberg geboren.

Von 1942 bis 1946 besuchte ich die Volksschule in Nürnberg. 1946 trat ich in das Melanchthon-Gymnasium zu Nürnberg ein, um es 1954 zu absolvieren.

Im gleichen Jahre begann ich an der Universität Erlangen das Medizinstudium, das ich nach einigen Semestern in München und Innsbruck 1960 mit dem Staatsexamen an der Universität Würzburg abgeschlossen habe.

Nach dem Staatsexamen war ich in der väterlichen Praxis, anschließend in der Hautklinik des Städt. Krankenhauses Nürnberg tätig.

Ruth Heller

